

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

REC'D 05 OCT 2000

WIPO PCT



EP 00/07728

EJU

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 199 40 169.1

Anmeldetag: 25. August 1999

Anmelder/Inhaber: Gerhard C. Rückert,
Heilbronn/DE

Bezeichnung: Tragwerk mit mindestens einer Tragwerkszelle,
insbesondere wandelbares Tragwerk mit zellen-
artigem Aufbau

IPC: F 16 S, F 16 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. August 2000
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

Agurks

PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Telefon +49 - (0) 7 11 - 22 10 91
 Telefax +49 - (0) 7 11 - 2 26 87 80
 E-Mail: office@patent-bartels.de

BARTELS, Hans Phys.
 BARTELS, Martin Dipl.-Ing.
 CRAZZOLARA, Helmut Dr.-Ing. Dipl.-Ing.

24. August 1999/1006

Gerhard C. Rückert

Hegelmaierstraße 52, D-74076 Heilbronn

Tragwerk mit mindestens einer Tragwerkszelle,
 insbesondere wandelbares Tragwerk mit zellenartigem Aufbau

Die Erfindung betrifft ein Tragwerk mit mindestens einer Tragwerkszelle,
 insbesondere ein wandelbares Tragwerk mit zellenartigem Aufbau
 bestehend aus mindestens einer Tragwerkszelle, gemäß dem Oberbegriff
 des Anspruchs 1.

5

Ein derartiges Tragwerk ist beispielsweise aus der US 4,580,375 bekannt.
 Dabei ist der mindestens eine Knoten der dritten Knotenmenge mit den vier
 Eckknoten der ersten Knotenmenge durch vier Stäbe verbunden, die in dem
 Knoten der dritten Knotenmenge gelenkig miteinander verbunden sind. In
 10 entsprechender Weise sind die Eckknoten der zweiten Knotenmenge durch
 vier Stäbe mit einem weiteren Knoten der dritten Knotenmenge verbunden.
 Die von dem einen und dem weiteren Knoten der dritten Knotenmenge zu
 benachbarten Eckknoten der ersten und zweiten Knotenmenge
 hinführenden Stäbe sind über Kreuz drehbar miteinander verbunden und
 15 bilden jeweils eine innerhalb der Tragwerkszelle angeordnete innere
 Schere. Die benachbarten Eckknoten der ersten und zweiten Knotenmenge

- sind mit benachbarten Eckknoten der zweiten bzw. ersten Knotenmenge einer benachbarten Ecke durch eine Führungseinrichtung in Form von paarweise über Kreuz drehbar miteinander verbundenen Stäben unter Bildung von äußeren Scheren verbunden, d. h. in ihrer Position zueinander
- 5 festgelegt. Die Ausbildung der inneren Scheren ist konstruktiv ungünstig, erfordert einen erhöhten fertigungstechnischen Aufwand und schränkt die Funktionalität der Tragwerkszelle sowie die von ihr bildbaren Formen ein.
- 10 Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Tragwerk mit mindestens einer Tragwerkszelle, insbesondere ein wandelbares Tragwerk mit zellenartigem Aufbau bestehend aus mindestens einer Tragwerkszelle, bereitzustellen, welches die Nachteile des Standes der Technik überwindet. Insbesondere soll das Tragwerk konstruktiv und funktional verbessert sowie
- 15 fertigungstechnisch vereinfacht sein und gleichzeitig eine große Formenvielfalt ermöglichen.

- Das Problem ist durch das im Anspruch 1 bestimmte Tragwerk gelöst. Besondere Ausführungsarten der Erfindung sind in den Unteransprüchen
- 20 bestimmt.

- Die beschriebene Erfindung findet Anwendung bei mobilen wie auch bei ortsfesten, aber temporären Tragwerken ebenso wie bei der Ausführung von permanenten Tragwerken in Segmentbauweise. Der Aufwand für Transport,
- 25 Lagerung, Errichtung und Abbau ist minimal, wogegen die Freiheit in der Formgestaltung groß ist. Die baustatischen Eigenschaften sind besonders vorteilhaft. Es kommen Anwendungen für Pavillons, Zelte, Unterstände, Notunterkünfte, Rüst- und Schalungssysteme ebenso in Frage wie Anwendungen in der Luft- und Raumfahrttechnik, beispielsweise für

- Antennen und Masten, bei der Ausbildung von Möbelstücken oder für Gegenstände des Spiel- und Freizeitbereichs, wie beispielsweise Drachen. Ortsfeste, aber temporäre Anwendungen sind z. B. die Überdachung von Sport- und Freizeitanlagen, öffentlichen Plätzen, Terrassen oder
- 5 Innenräumen. Permanente Tragwerke können durch die Verbindung mehrerer einzeln aufgespannter Module, die ihrerseits wieder aus mehreren Tragwerkszellen bestehen können, beispielsweise durch Einhängen mittels eines Krans, sehr rationell errichtet werden.
- 10 Der mindestens eine Knoten der dritten Knotenmenge ist mit mindestens zwei Knoten, insbesondere Eckknoten der ersten und/oder zweiten Knotenmenge, vorzugsweise mit drei, vier oder allen Knoten der ersten und/oder zweiten Knotenmenge der Tragwerkszelle, durch ein im wesentlichen nur Zugkräfte übertragendes Verbindungselement verbunden.
- 15 Diese leiten bei Belastung des Tragwerks durch Nutz- und/oder Eigenlast die auftretenden Zugkräfte von dem Knoten der dritten Knotenmenge an die Knoten der ersten und/oder zweiten Knotenmenge ab. Vorzugsweise ist der Knoten der dritten Knotenmenge äquidistant zu den mit ihm verbundenen oder zu allen Knoten der ersten und/oder zweiten
- 20 Knotenmenge. Die Eckknoten der ersten Knotenmenge bilden eine erste, beispielsweise obere Begrenzungsfläche des Tragwerks und sind von den zugehörigen Eckknoten der zweiten Knotenmenge, die eine zweite, beispielsweise untere Begrenzungsfläche des Tragwerks bilden, in der Regel in vertikaler Richtung beabstandet. Die im wesentlichen Zugkräfte
- 25 übertragenden Verbindungselemente sind an den jeweiligen Knoten festgelegt, insbesondere angelenkt, und sind beispielsweise aus jeweils zwei parallel verlaufenden Drähten oder Seilen aus Stahl oder einem sonstigen geeigneten Werkstoff gebildet. Der mindestens eine Knoten der

dritten Knotenmenge liegt vorzugsweise unterhalb des untersten Eckknoten der ersten Knotenmenge, mit dem er verbunden ist.

- Ein Knoten der dritten Knotenmenge ist mit mindestens einem,
- 5 vorzugsweise mit drei, vier oder allen Knoten der zweiten Knotenmenge durch ein Druck- und Zugkräfte übertragendes Verbindungselement verbunden. Vorzugsweise ist dieser Knoten der dritten Knotenmenge äquidistant zu den mit ihm verbundenen oder zu allen Knoten der zweiten Knotenmenge. Über ihn werden die bei Belastung des Tragwerks
- 10 auftretenden Kräfte im wesentlichen als Druckkräfte zu den Knoten der zweiten Knotenmenge abgeführt, von denen in der Regel ein Teil auf einem Auflager des Tragwerks aufliegt. Die Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente sind an den jeweiligen Knoten angelenkt und insbesondere durch Stäbe aus Aluminium oder einem sonstigen geeigneten
- 15 Werkstoff gebildet. Grundsätzlich gilt, daß die verwendeten Werkstoffe bei ausreichender Belastbarkeit eine möglichst geringe Masse aufweisen. Die Knoten der dritten Knotenmenge sind in der Regel innerhalb oder am Rand des von den Eckknoten aufgespannten Zellenraumes, vorzugsweise jedenfalls innerhalb einer von den Eckknoten begrenzten Fläche
- 20 angeordnet.

- Die jeweiligen Knoten der ersten und zweiten Knotenmenge können entweder mit einem gemeinsamen Knoten der dritten Knotenmenge verbunden sein oder die mindestens zwei Eckknoten der ersten und/oder
- 25 zweiten Knotenmenge sind mit einem ersten Knoten der dritten Knotenmenge verbunden und der mindestens eine Eckknoten der zweiten Knotenmenge ist mit einem zweiten Knoten der dritten Knotenmenge verbunden, wobei vorzugsweise der erste Knoten der dritten Knotenmenge durch ein Zug- und Druckkräfte übertragendes Verbindungselement mit

dem zweiten Knoten der dritten Knotenmenge verbunden ist. Dadurch werden die im Inneren einer Tragwerkszelle auftretenden Kräfte im wesentlichen oder ausschließlich als Druckkräfte auf die Eckknoten der zweiten Knotenmenge abgeleitet und als Zugkräfte auf die Knoten der ersten Knotenmenge abgeleitet.

In einer besonderen Ausführungsart der Erfindung bilden die von den Knoten der ersten und zweiten Knotenmenge gebildeten Flächen jeweils eine Ebene. Dabei können, insbesondere in einem ausgefahrenen Zustand der Tragwerkszelle, alle Knoten der zweiten Knotenmenge und der Knoten der dritten Knotenmenge, der mit mindestens zwei Knoten der ersten und/oder zweiten Knotenmenge verbunden ist, in einer Ebene liegen und/oder alle Knoten der ersten Knotenmenge und der Knoten der dritten Knotenmenge, der mit mindestens einem Knoten der zweiten Knotenmenge verbunden ist, in einer Ebene liegen. Dadurch ergeben sich eine konstruktiv und funktional vorteilhafte, plane erste und/oder zweite, beispielsweise obere und untere, Begrenzungsfläche der Tragwerkszelle bzw. des Tragwerks. In entsprechender Weise können diese Flächen aber auch beispielsweise mindestens einen Teil einer Kugelschale oder einer Mantelfläche eines Kreiszylinders bilden. Ebene, ein- und zweiseitig gekrümmte Tragwerkszellen sind zu einem Tragwerk mit komplexer Form kombinierbar.

Ein Knoten der ersten Knotenmenge einer insbesondere am äußeren Umfang des Tragwerks angeordneten Ecke ist mit einem Knoten der zweiten Knotenmenge einer insbesondere am äußeren Umfang des Tragwerks angeordneten benachbarten Ecke und ein Knoten der zweiten Knotenmenge der Ecke ist mit einem Knoten der ersten Knotenmenge der benachbarten Ecke durch über Kreuz drehbar miteinander verbundene und

- Zug- und Druckkräfte übertragende Elemente verbindbar. Die dadurch gebildeten äußeren Scheren der Tragwerkszelle bzw. des Tragwerks bilden eine Führungseinrichtung, welche die Position der miteinander verbundenen Knoten zueinander festlegt, und bilden zusammen mit den
- 5 Verbindungen zu den Knoten der dritten Knotenmenge eine baustatisch sehr vorteilhafte dreieckförmige Ausfachung der Tragwerkszelle. Alternative Führungseinrichtungen, welche die entsprechenden Knoten in zugehörigen Steuerbahnen führen, sind möglich.
- 10 Vorzugsweise weisen die zu den Auflagern des Tragwerks hinführenden Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente eine größere Belastbarkeit, insbesondere einen größeren Durchmesser, auf als die übrigen Verbindungselemente der Führungseinrichtung, da über sie größere Kräfte übertragen werden müssen. Soweit die von den Knoten aufgespannte
- 15 Fläche eine Ebene sein soll, sind die über Kreuz drehbar miteinander verbundenen Verbindungselemente zentrisch, d. h. mittig in Bezug auf ihre Längsrichtung miteinander verbunden. Soweit die von den Knoten aufgespannte Fläche eine Krümmung aufweisen soll, sind die über Kreuz drehbar miteinander verbundenen Verbindungselemente exzentrisch, d. h.
- 20 außerhalb ihrer Mitte in Längsrichtung, miteinander verbunden.

Die Ausdehnung des Tragwerks ist veränderbar, insbesondere ist das Tragwerk bzw. die Tragwerkszelle ein- und ausfahrbar.

- Die Ausdehnung des Tragwerks ist durch eine Betätigungseinrichtung
- 25 einstellbar, die Ausfahr- und Einfahrmittel aufweist, insbesondere ein Ausziehseil und ein Einziehseil, die in den jeweiligen Knoten über Umlenkmittel geführt sind und vorzugsweise an einem gemeinsamen Knoten feststellbar betätigbar sind. Beispielsweise kann an dem gemeinsamen Knoten eine motorisch angetriebene Winde angeordnet sein,

die das Ausfahren und Einfahren des Tragwerks betätigt. Das Aus- und Einfahren des Tragwerks erfolgt eigenspannungsfrei, d. h. in jedem beliebigen Zustand während des Aus- und Einfahrens treten vorzugsweise lediglich die durch die Eigenlast und gegebenenfalls eine Nutzlast

5 verursachten Beanspruchungen in dem Tragwerk auf. Darüber hinaus ist das Tragwerk vorzugsweise mittels der Betätigungseinrichtung derart mit einer Vorspannung beaufschlagbar, daß es in einem belasteten Zustand eine vorgebbare Form einnimmt. Diese Vorspannung kann beispielsweise durch Klemmen des Ausziehseils bei gleichzeitigem Beaufschlagen des

10 Einziehseils mit einer Zugkraft und anschließendem Feststellen bzw. Klemmen des Einziehseils erfolgen.

Das Ausziehseil ist in den jeweiligen Knoten über Umlenkmittel, beispielsweise Umlenkrollen oder Umlenksättel, mit vorzugsweise zwei

15 unterschiedlichen Umlenkradien geführt. Dort, wo das Ausziehseil entlang eines Verbindungselements einer Schere geführt ist, verläuft es zwischen den beiden die Schere bildenden Verbindungselementen. Durch die unterschiedlichen Umlenkradien der Umlenkmittel ist das Ausziehseil an den Scherengelenken vorbeigeführt.

20 Die Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente sind an ihren Enden durch horizontal und quer zu ihrer Längsachse angeordnete Drehgelenke mit den jeweiligen Knoten verbunden. Bei der möglichen exzentrischen Anordnung der Scherengelenke ist das Tragwerk ohne

25 Einführen von Eigenspannungen im Verlauf des Aus- und Einfahrens beispielsweise als Kugelschalenelement ausführbar.

Die Verbindungselemente der dabei aus der vertikalen Ebene geneigten Scherenpaare sowie die mit Knoten der zweiten und dritten Knotenmenge verbundenen Verbindungselemente erfordern in der Regel, an den an ihrem

Anfang und Ende gelegenen Knotenanschlüssen, einen weiteren rotatorischen Freiheitsgrad, der beispielsweise durch zwei aufeinanderfolgende Drehgelenke mit zueinander orthogonalen Drehachsen bereitstellbar ist.

5

Die Knoten der ersten und/oder zweiten Knotenmenge sind, vorzugsweise unter Einschluß der Knoten der dritten Knotenmenge, mit einer Membran derart verbindbar, daß dadurch eine mindestens partiell geschlossene Oberfläche der ersten bzw. zweiten Fläche gebildet ist. Werden sowohl

10 die Knoten des oberen als auch des unteren Knotennetzes mit einer durchgehenden Membran verbunden, so entsteht eine mit einem inneren Skelett verstärkte Kissenkonstruktion. Dabei kann die Betätigungseinrichtung zur Veränderung der Ausdehnung des Tragwerks alternativ oder ergänzend zu dem Ausziehseil und Einziehseil durch
15 die Pneumatik des Kissens ausgebildet sein. Im eingefahrenen Zustand ist die Membran vorzugsweise im Innern des Tragwerks zusammengefaltet.

Insbesondere die Knoten der ersten Knotenmenge und der mindestens eine Knoten der dritten Knotenmenge, die mit den Knoten der zweiten

20 Knotenmenge durch Zug- und Druckkräfte übertragende Verbindungselemente verbunden sind, können mit mindestens einem vorzugsweise dreieckförmigen Plattenelement derart verbunden werden, daß dadurch eine mindestens partiell geschlossene Oberfläche der ersten Fläche gebildet ist. Die durch die Masse der Plattenelemente bedingte
25 Belastung des Tragwerks ist durch eine Überhöhung im unbelasteten Zustand kompensierbar. Die Plattenelemente sind vorzugsweise so anzuordnen, daß zumindest ein Teil davon die Knoten der dritten Knotenmenge benachbarter Tragwerkszellen miteinander verbindet. Durch die Verbundwirkung von Tragwerk und Plattenelementen ist

die Tragfähigkeit des Tragwerks weiter erhöht, insbesondere wirken die Plattenelemente wie weitere Zug- und Druckkräfte übertragende Verbindungselemente.

- 5 Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele im einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in
- 10 beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.
- Fig. 1 zeigt ein Tragwerk bestehend aus 2 x 2 Tragwerkszellen im eingefahrenen Zustand,
- Fig. 2 zeigt das Tragwerk der Fig. 1 in einem teilweise ausgefahrenen Zustand,
- 15 Fig. 3 zeigt das Tragwerk im vollständig ausgefahrenen Zustand,
- Fig. 4 zeigt die zu den Auflagern hinführenden Verbindungselemente der Führungseinrichtung,
- Fig. 5 zeigt die im wesentlichen nur Zugkräfte übertragenden Verbindungselemente,
- 20 Fig. 6 zeigt den Verlauf des Ausziehseils,
- Fig. 7 zeigt den Verlauf des Einziehseils,
- Fig. 8 zeigt die von den Knoten der ersten bzw. dritten Knotenmenge aufgespannte obere Ebene,
- 25 Fig. 9 zeigt die von den Knoten der zweiten bzw. dritten Knotenmenge aufgespannte untere Ebene,
- Fig. 10 zeigt eine Eindeckung des Tragwerks mit dreieckförmigen Plattenelementen,
- Fig. 11 zeigt eine alternative Ausführungsform,

Fig. 12 zeigt beispielhaft ein Scherengelenk, und

Fig. 13 zeigt beispielhaft die Anlenkung der Verbindungselemente.

Die Fig. 1 zeigt ein Tragwerk 90 bestehend aus 2 x 2 Tragwerkszellen 91, 92, 93, 94 im eingefahrenen Zustand, in dem das Tragwerk 90 kompakt, leicht zu transportieren und zu lagern ist. Das Tragwerk 90 hat in diesem Zustand in der vertikalen Z-Richtung die größte Ausdehnung.

Die Ausdehnung in den horizontalen X- und Y-Richtungen ist minimiert. Die oberen Knoten 114 bis 121 und 126 (Fig. 3) der ersten Knotenmenge liegen ebenso in einer Ebene wie die unteren Knoten 101 bis 108 und 113 (Fig. 3) der zweiten Knotenmenge. Die Knoten 109 bis 112 und 122 bis 125 (Fig. 3) der dritten Knotenmenge sind im eingefahrenen Zustand in vertikaler Richtung zwischen den Knoten der ersten und zweiten Knotenmenge und im Zentrum ihrer jeweiligen Tragwerkszelle angeordnet.

Die Tragwerkszelle 91 ist im Ausführungsbeispiel in der Draufsicht viereckig, sie könnte aber ebenso drei- oder vieleckig sein. Das Tragwerk kann durch eine beliebige, auch dreidimensionale Anordnung von $n \times m$ (n, m natürliche Zahlen) Tragwerkszellen gebildet sein.

Die Fig. 2 zeigt das Tragwerk 90 der Fig. 1 in einem teilweise ausgefahrenen Zustand. Der Abstand der Knoten 114 bis 121 und 126 (Fig. 3) der ersten Knotenmenge und der Knoten 101 bis 108 und 113 (Fig. 3) der zweiten Knotenmenge hat sich in Z-Richtung verringert und in X- und Y-Richtung vergrößert. Nachfolgend ist beispielhaft der Aufbau und die Kinematik einer Tragwerkszelle 91 beschrieben. Die Knoten 114, 115, 126 und 121 bilden die vier Eckknoten der ersten Knotenmenge einer in der Draufsicht quadratischen Tragwerkszelle 91. Deckungsgleich hierzu bilden die Knoten 101, 102, 113 und 108 die vier Eckknoten der zweiten Knotenmenge. Ein Knoten 109 der dritten Knotenmenge ist jeweils über

zwei parallel zueinander verlaufende und im wesentlichen nur Zugspannungen übertragende Stahlseile 39, 41, 43, 45 mit den Knoten 114, 115, 113, 121 der ersten und zweiten Knotenmenge verbunden. Ein weiterer Knoten 122 der dritten Knotenmenge, der von den Knoten 101, 102, 113, 108 der zweiten Knotenmenge gleich beabstandet ist, ist mit diesen über jeweils einen Zug- und Druckkräfte übertragenden Aluminiumstab 40, 42, 44, 46 verbunden. Die beiden Knoten 109, 122 der dritten Knotenmenge sind durch einen Zug- und Druckkräfte übertragenden Aluminiumstab 11, der im dargestellten Ausführungsbeispiel vertikal in Z-Richtung ausgerichtet ist, miteinander verbunden. Im dargestellten Zustand befindet sich der vertikale Aluminiumstab 11 im Zentrum des von der Tragwerkszelle 91 aufgespannten Raumes.

In entsprechender Weise sind die Tragwerkszellen 92, 93, 94 aufgebaut. Benachbarte Tragwerkszellen 91, 92, 93, 94 weisen gemeinsame Eckknoten auf. In der dargestellten 2 x 2-Anordnung der Tragwerkszellen 91 bis 94 sind die zentrischen Knoten 113, 126 gemeinsame Knoten aller Tragwerkszellen 91 bis 94.

In der dargestellten Ausführungsform sind alle Knoten der ersten und zweiten Knotenmenge durch eine Führungseinrichtung in Form von inneren und äußeren Scheren in ihrer Position zueinander zwangsläufig veränderbar festgelegt. Die inneren und äußeren Scheren dienen der Ab- bzw. Weiterleitung der auf die Knoten einwirkenden Kräfte. Der Eckknoten 114 der ersten Knotenmenge ist mit dem Eckknoten 102 der zweiten Knotenmenge einer benachbarten Ecke und der Eckknoten 101 der zweiten Knotenmenge ist mit dem Eckknoten 115 der ersten Knotenmenge der benachbarten Ecke durch über Kreuz drehbar miteinander verbundene und Zug- und Druckkräfte übertragende Aluminiumstäbe 15 bzw. 16

verbunden. In entsprechender Weise bilden die weiteren Aluminiumstäbe 17, 18; 19, 20; 21, 22; 23, 24; 25, 26; 27, 28; 29, 30 paarweise äußere Scheren des Tragwerks 90. Durch diese Scheren ist die Position der Knoten der ersten und zweiten Knotenmenge beim Verändern der Ausdehnung des
5 Tragwerks 90 zueinander veränderbar festgelegt.

Darüber hinaus weist das Tragwerk 90 noch die sogenannten inneren Scheren auf, die ebenfalls durch über Kreuz miteinander drehbar verbundene Aluminiumstabpaare 31, 32; 33, 34; 35, 36; 37, 38 gebildet
10 sind. Die Scherengelenke sind in der dargestellten Ausführungsform jeweils in der Mitte der Stäbe angeordnet. Bei exzentrischer Anordnung der Scherengelenke in den Knoten 127 bis 138 ist das Tragwerk, unter Beibehaltung der generellen Topologie und ohne eine Einführung von
15 Eigenspannungen im Verlauf des Ein- und Ausfahrens, als Zylinder- oder Kugelschale ausführbar. Die Stäbe der dabei aus der vertikalen Ebene geneigten Scherenpaare sowie die mit Knoten der zweiten und dritten Knotenmenge verbundenen Verbindungselemente erfordern in der Regel, an den Knotenanschlüssen an ihrem Anfang und Ende, einen weiteren
20 rotatorischen Freiheitsgrad, der beispielsweise durch zwei aufeinanderfolgende Drehgelenke mit zueinander orthogonalen Drehachsen bereitstellbar ist. Bei der Realisierung einer Kugelschale entfallen vorzugsweise die inneren Scherengelenke an den Knoten 135 bis 138, wobei in diesem Fall die Verbindungselemente 31, 33, 35, 37 als im
25 wesentlichen nur Zugspannungen übertragende Verbindungselemente 31', 33', 35', 37', beispielsweise Seile, ausbildbar sind (Fig. 11).

Die im wesentlichen nur Zugspannungen übertragenden Verbindungselemente 3 bis 6 sind als Stahlseile ausgeführt und üben Zugkräfte auf die mit ihnen verbundenen Knoten 102, 104, 106, 108, 113

der zweiten Knotenmenge aus. In den Ecken des Tragwerks 90 sind an den Eckknoten 101, 103, 105, 107 der zweiten Knotenmenge im wesentlichen Druckkräfte übertragende Verbindungselemente in Form von Aluminiumstäben als sogenannte Eckständer 7, 8, 9, 10 angeordnet. Im
5 aufgespannten Zustand des Tragwerks 90 besteht ein Kontaktstoß zwischen den Eckständern 7, 8, 9, 10 und den zugehörigen Eckknoten 114, 116, 118, 120 der ersten Knotenmenge.

Die Stäbe der Scheren und die zu den Knoten 109 bis 112 und 122 bis 125
10 der dritten Knotenmenge führenden Verbindungselemente, exklusive der Stäbe 11, 12, 13, 14, sind an ihren Enden durch je ein Drehgelenk mit horizontal und quer zur Längsachse verlaufender Drehachse mit je einem Knoten der ersten, zweiten bzw. dritten Knotenmenge verbunden.

Die beiden Stäbe einer Schere sind zusätzlich an ihrem Kreuzungspunkt,
15 den Knoten 127 bis 138, durch je ein Drehgelenk mit horizontal und quer zur Längsachse verlaufender Drehachse miteinander verbunden. Die im wesentlichen nur Zugkräfte übertragenden Verbindungselemente 3 bis 6 sind an ihren Enden durch je ein Drehgelenk mit horizontal und quer zur Längsachse verlaufender Drehachse mit Knoten der zweiten Knotenmenge
20 verbunden.

Das Ausziehseil 1 und Einziehseil 2 ist an einem Knoten festgelegt und verläuft über in die Knoten integrierte Umlenkrollen und/oder Umlenksättel durch das Tragwerk 90 bis zu einem vorzugsweise eine Feststellklemme
25 aufweisenden Austrittspunkt aus dem Tragwerk 90. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Ausziehseil 1 an dem Knoten 101 festgelegt und läuft mit seinen Abschnitten 1a bis 1n über die Knoten 115-102-126-113-119-106-118-104-117-113-126-108 und 121 zurück zum Knoten 101 und ist dort aus dem Tragwerk 90 herausgeführt wie in der Fig. 6 dargestellt.

Das Einziehseil 2 ist ebenfalls am Knoten 101 festgelegt und läuft mit seinen Abschnitten 2a bis 2d über die Knoten 103-105 und 107 zurück zum Knoten 101 und ist dort ebenfalls aus dem Tragwerk 90 herausgeführt, wie in der Fig. 7 dargestellt.

5

Zur einstellbaren Veränderung des Tragwerks 90 wird bei geöffnetem Zustand der Klemmen der sich in dem Tragwerk 90 befindliche Anteil des Ausziehseils 1 bzw. Einziehseils 2 mittels einer mit jeweils dem losen Ende der Seile verbundenen Winde variiert. Bei einer Verkürzung des

10 Ausziehseils 1 wird, bei gleichzeitiger Verlängerung des Einziehseils 2, das Tragwerk ausgefahren. Sofern die mit den Knoten 109 bis 112 der dritten Knotenmenge verbundenen Seile 39, 41, ..., 69 in Bezug zur Geometrie im aufgespannten Zustand verkürzt eingebaut sind, werden sie durch das Ausfahren des Tragwerks 90 gedehnt. Dies bewirkt eine baustatisch

15 vorteilhafte Vorspannung der mit den Knoten 109 bis 112 und 122 bis 125 der dritten Knotenmenge verbundenen Verbindungselemente. In entsprechender Weise wird bei einer Verkürzung des Einziehseils 2 und gleichzeitiger Verlängerung des Ausziehseils 1 die Konstruktion eingefahren. Wird im ausgefahrenen Zustand, bei geklemmtem Zustand des

20 Ausziehseils 1, das Einziehseil 2 unter Zugspannung gesetzt bzw. eingezogen, so wird dadurch das Tragwerk 90 vorgespannt, insbesondere im dargestellten Ausführungsbeispiel konvex überhöht. Das Tragwerk 90 kann dadurch, entsprechend der aufzunehmenden Nutzlast bzw. den zulässigen Verformungen, bereits beim Ausfahren oder während des

25 späteren Gebrauchs ein- bzw. nachgestellt werden.

Die Fig. 3 zeigt das Tragwerk 90 im vollständig ausgefahrenen Zustand. Der Knoten 101 ist dabei mit einem festen (nicht dargestellten) Auflager des Tragwerks 90 verbunden, während die Knoten 103, 105, 107 auf (nicht

dargestellten) Gleitlagern aufliegen. Im vollständig ausgefahrenen Zustand liegen alle Knoten 114 bis 121 und 126 der ersten Knotenmenge sowie die mit den Knoten der zweiten Knotenmenge verbundenen Knoten 122 bis 125 der dritten Knotenmenge in einer ersten oberen Ebene. Entsprechend
5 liegen alle Knoten 101 bis 108 und 113 der zweiten Knotenmenge und die mit den Knoten der ersten Knotenmenge verbundenen Knoten 109 bis 112 der dritten Knotenmenge in einer zweiten Ebene, die parallel zur ersten Ebene verläuft und unterhalb dieser angeordnet ist.

10 Die Fig. 4 zeigt die zu den Auflagern hinführenden Verbindungselemente 16, 17, 20, 21, 24, 25, 28, 29, 32, 34, 36, 38 der äußeren und inneren Scheren. Diese weisen eine höhere Belastbarkeit, insbesondere einen größeren Querschnitt auf als die mit ihnen über Kreuz drehbar verbundenen Verbindungselemente.

15

Die Fig. 5 zeigt die im wesentlichen nur Zugkräfte übertragenden Verbindungselemente 3 bis 6 und 39, 41, ..., 69. Dabei sind die mit den Knoten 109 bis 112 der dritten Knotenmenge verbundenen
Verbindungselemente 39, 41, ..., 69 als zweigeteilte Stahlseile ausgeführt,
20 durch welche die sie kreuzenden und Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente 40, 42, ..., 70 hindurchgeführt sind.

Bei Weglassung der Eckständer 7 bis 10 und der Integration der die im wesentlichen nur Zugkräfte übertragende Verbindungselemente bildenden
25 Seile 39, 41, ..., 69 in Ein- und/oder Ausziehseilen ist das Tragwerk in ebener wie auch in ein- und zweifach gekrümmter Form durch eine Variation der Längen der sich im Tragwerk befindlichen Anteile der Ein- und Ausziehseile kontinuierlich, d. h. in jedem Zustand zwischen dem

vollständig ausgefahrenen und vollständig eingefahrenen Zustand, versteifbar.

Die Fig. 8 zeigt die von den Knoten 114 bis 126 der ersten bzw. dritten
5 Knotenmenge aufgespannte obere Ebene, wogegen die Fig. 9 die von den Knoten 101 bis 113 der zweiten bzw. dritten Knotenmenge aufgespannte untere Ebene zeigt.

Die Fig. 10 zeigt eine Eindeckung des vollständig ausgefahrenen Tragwerks
10 90 mit dreieckförmigen Plattenelementen 201 bis 216. Diese stützen sich jeweils auf drei Knoten der ersten bzw. dritten Knotenmenge ab. Die durch die Masse dieser Plattenelemente bedingte Durchbiegung des Tragwerks 90 kann durch die vorstehend beschriebene Vorspannung bzw. Überhöhung kompensiert werden. Die Plattenelemente 202, 205, 208, 211 und 213 bis
15 216 verbinden jeweils in vorteilhafter Weise die Knoten 122, 123; 123, 124; 124, 125; 125, 122 der dritten Knotenmenge von benachbarten Tragwerkszellen 91 bis 94 und wirken insbesondere wie weitere, Zug- und Druckkräfte übertragende Verbindungselemente.

20 Die Fig. 11 zeigt eine alternative Ausführungsform einer 2 x 2-Anordnung von Tragwerkszellen in einem Tragwerk, welches in X- und Y-Richtung eine Krümmung aufweist, die u. a. durch Auflösung der inneren Scheren und durch Ersatz der Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente 31, 33, 35, 37 durch die im wesentlichen nur Zugkräfte übertragenden
25 Seile 31', 33', 35', 37' ermöglicht ist. Soweit das Tragwerk nur einseitig gekrümmt sein soll, ist eine derartige Auflösung der inneren Scheren nicht erforderlich.

Die Fig. 12 zeigt beispielhaft ein Scherengelenk, durch welches die beiden Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente 15, 16 über Kreuz drehbar miteinander verbunden sind. Der Stab 16 führt dabei, wie in der Fig. 3 ersichtlich, zum Knoten 101 am Auflagerpunkt des Tragwerks 90 und weist daher einen größeren Durchmesser auf. Zwischen den Stäben 15, 16 ist das Ausziehseil 1 hindurchgeführt, welches aufgrund der unterschiedlichen Durchmesser der in den Knoten 101, 115 angeordneten Umlenkmittel am Gelenkkörper 127' des Knotens 127 vorbeigeführt ist oder jedenfalls ohne das Tragwerk ungünstig belastende Umlenkraft an diesem anliegt.

Die Fig. 13 zeigt beispielhaft die Anlenkung der Verbindungselemente an den gemeinsamen Knoten 104, 117 der benachbarten Tragwerkszellen 92, 93. Die Stäbe 19, 20; 21, 22 der äußeren Scheren sind ebenso wie die Stäbe 33, 34 der inneren Schere und die inneren Streben 52, 58 mit jeweils einem, einen rotatorischen Freiheitsgrad aufweisenden Gelenk an den Knoten 104 bzw. 117 angelenkt. Die von den Verbindungselementen auf die Knoten eingeleiteten Momente und horizontalen Kraftkomponenten heben sich, bei der dargestellten Anordnung der Stabanschlüsse, weitestgehend gegenseitig auf. Die zu den Knoten der dritten Knotenmenge führenden, doppelt ausgeführten und zwischen sich jeweils die innere Strebe 52 bzw. 58 kreuzend aufnehmenden Seile 51 bzw. 57 sind ebenfalls an dem Knoten 117 mit einem rotatorischen Freiheitsgrad angelenkt. Das Ausziehseil 1 verläuft nahezu parallel zum Stab 22 vom Knoten 118 kommend um die am Knoten 104 angelenkte Umlenkrolle 1' mit größerem Durchmesser zur am Knoten 117 angelenkten Umlenkrolle 1'' mit kleinerem Durchmesser und weiter nahezu parallel zum Stab 33 zum Knoten 113.

PATENTANSPRÜCHE

1. Tragwerk mit mindestens einer Tragwerkszelle (91), insbesondere wandelbares Tragwerk mit zellenartigem Aufbau bestehend aus mindestens einer Tragwerkszelle, die von Knoten (114, 115, 126, 121) einer ersten Knotenmenge, die in einer ersten Fläche liegen, und von Knoten (101, 102, 113, 108) einer zweiten Knotenmenge, die in einer zweiten Fläche liegen, begrenzt ist, und mit mindestens einem Knoten (109) einer dritten Knotenmenge, der außerhalb der ersten Fläche liegt, wobei mindestens ein Teil der Knoten der ersten und zweiten Knotenmenge durch eine Führungseinrichtung in seiner Position zueinander festlegbar, insbesondere miteinander verbindbar, ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der mindestens eine Knoten (109) der dritten Knotenmenge mit mindestens zwei Knoten (114, 115, 113, 121) der ersten und/oder zweiten Knotenmenge durch ein im wesentlichen nur Zugkräfte übertragendes Verbindungselement (39, 41, 43, 45) verbunden ist.
2. Tragwerk nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Knoten (122) der dritten Knotenmenge mit mindestens einem Knoten (101, 102, 113, 108) der zweiten Knotenmenge durch ein Zug- und Druckkräfte übertragendes Verbindungselement (40, 42, 44, 46) verbunden ist.
3. Tragwerk nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Knoten (114, 115, 126, 121; 101, 102, 113, 108) der ersten und zweiten Knotenmenge Eckknoten der Tragwerkszelle (91) sind.

4. Tragwerk nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens zwei Knoten (114, 115, 113, 121) der ersten und/oder zweiten Knotenmenge und der mindestens eine Knoten (101, 102, 113, 108) der zweiten Knotenmenge mit einem gemeinsamen Knoten der dritten Knotenmenge verbunden sind.
- 5
5. Tragwerk nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens zwei Knoten (114, 115, 113, 121) der ersten und/oder zweiten Knotenmenge mit einem ersten Knoten (109) der dritten Knotenmenge und der mindestens eine Knoten (101, 102, 113, 108) der zweiten Knotenmenge mit einem zweiten Knoten (122) der dritten Knotenmenge verbunden sind, und daß der erste Knoten (109) der dritten Knotenmenge durch ein Druck- und Zugkräfte übertragendes Verbindungselement (11) mit dem zweiten Knoten (122) der dritten Knotenmenge verbunden ist.
- 10
- 15
6. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder die zweite Fläche eine Ebene ist.
- 20
7. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß alle Knoten (101, 102, 113, 108) der zweiten Knotenmenge und der Knoten (109) der dritten Knotenmenge, der mit mindestens zwei Knoten (114, 115, 113, 121) der ersten und/oder zweiten Knotenmenge durch ein im wesentlichen nur Zugkräfte übertragendes Verbindungselement (39, 41, 43, 45) verbunden ist, in einer Ebene liegen.
- 25

8. Tragwerk nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß alle Knoten (114, 115, 126, 121) der ersten Knotenmenge und der Knoten (122) der dritten Knotenmenge, der mit mindestens einem Knoten (101, 102, 113, 108) der zweiten Knotenmenge durch ein Zug- und Druckkräfte übertragendes Verbindungselement (40, 42, 44, 46) verbunden ist, in einer Ebene liegen.
9. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Führungseinrichtung Führungsmittel aufweist und daß mindestens ein Knoten (114) der ersten Knotenmenge einer insbesondere am äußeren Umfang des Tragwerks angeordneten Ecke der Tragwerkszelle (91) mit einem Knoten (102) der zweiten Knotenmenge einer insbesondere am äußeren Umfang des Tragwerks angeordneten benachbarten Ecke der Tragwerkszelle (91) und ein Knoten (101) der zweiten Knotenmenge der Ecke mit einem Knoten (115) der ersten Knotenmenge der benachbarten Ecke durch die Führungsmittel miteinander verbunden sind.
10. Tragwerk nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Führungsmittel über Kreuz drehbar miteinander verbundene und Zug- und Druckkräfte übertragende Verbindungselemente (15, 16) aufweisen.
11. Tragwerk nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die zu Auflagern des Tragwerks führenden Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente (16, 32, 17, 20, 34, 21, 24, 36, 25, 28, 38, 29) eine größere Belastbarkeit, insbesondere einen größeren Durchmesser, aufweisen als die übrigen

Verbindungselemente (15, 31, 18, 19, 33, 22, 23, 35, 26, 27, 37, 30) der Führungsmittel.

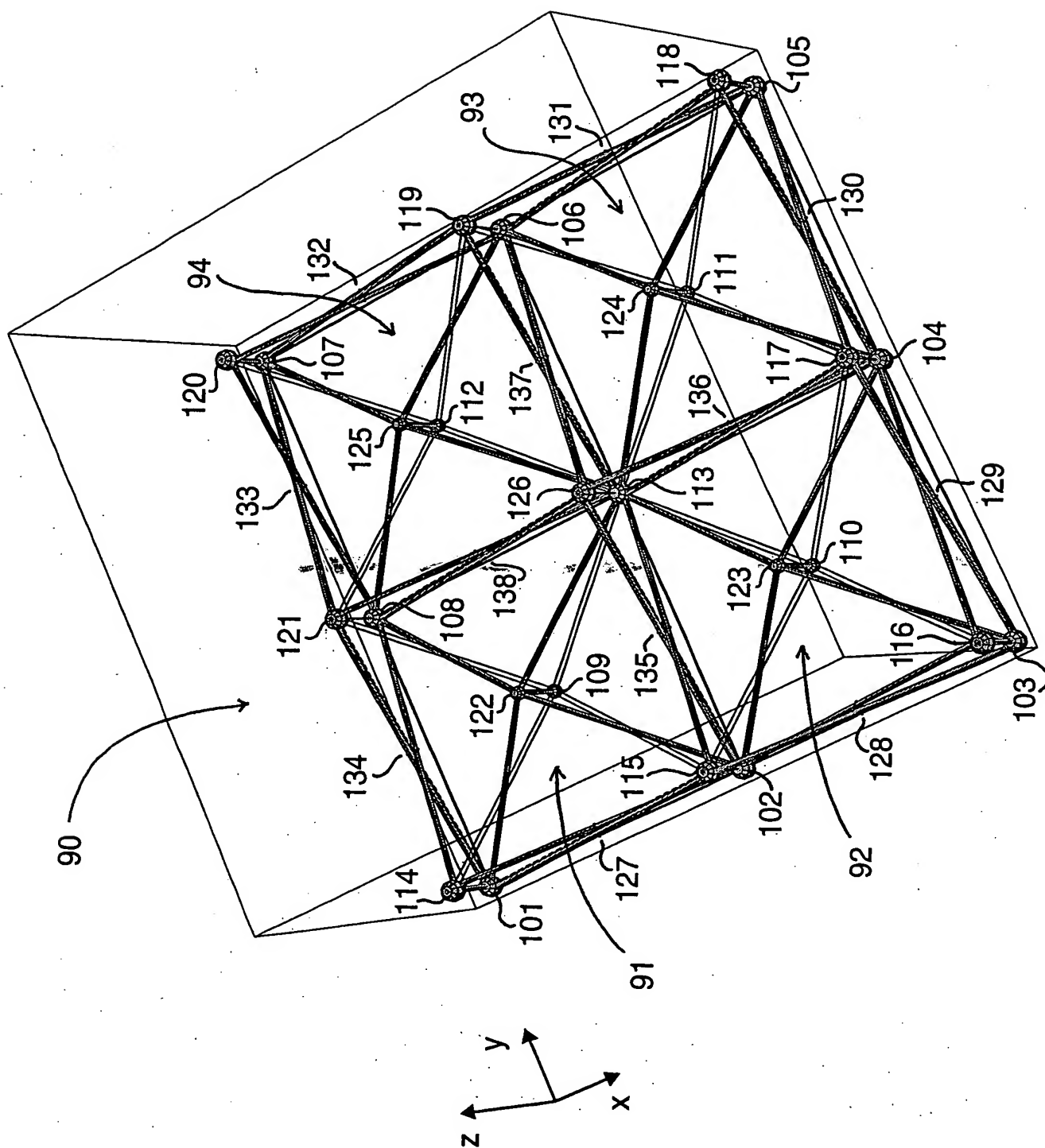
- 5 12. Tragwerk nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Teil der paarweise über Kreuz drehbar miteinander verbundenen und Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente (15, 16; 17, 18; bis 37, 38) außerhalb ihrer Mitte in Längsrichtung miteinander verbunden sind.
- 10 13. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Tragwerkszellen (91, 92, 93, 94) nebeneinander angeordnet sind und daß benachbarte Tragwerkszellen gemeinsame Knoten aufweisen.
- 15 ~~14. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausdehnung der Tragwerkszelle (91) bzw. des Tragwerks (90) durch eine Betätigungseinrichtung einstellbar ist.~~
- 20 15. Tragwerk nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigungseinrichtung Ausfahr- und Einfahrmittel aufweist, insbesondere ein Ausziehseil (1) und ein Einziehseil (2), die in den jeweiligen Knoten über Umlenkmittel geführt sind und vorzugsweise an einem gemeinsamen Knoten (101) feststellbar betätigbar sind.
- 25 16. Tragwerk nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausziehseil (1) in den jeweiligen Knoten über Umlenkmittel, insbesondere Umlenkrollen oder Umlenksättel, mit mindestens zwei unterschiedlichen Umlenkradien geführt ist.

17. Tragwerk nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Betätigungseinrichtung das Tragwerk (90) mit einer Vorspannung beaufschlagbar ist und dadurch in einem belasteten Zustand eine vorgebbare Form einnimmt.
- 5
18. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Teil der Knoten (114 bis 121, 126) der ersten Knotenmenge und/oder der Knoten (101 bis 108, 113) der zweiten Knotenmenge und/oder der Knoten (109 bis 112, 122 bis 125) der dritten Knotenmenge mit einer Membran derart verbindbar sind, daß dadurch eine mindestens partiell geschlossene Oberfläche der ersten bzw. zweiten Fläche gebildet ist.
- 10
19. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Teil der Knoten (114 bis 121, 126) der ersten Knotenmenge und mindestens ein Teil der Knoten (122 bis 125) der dritten Knotenmenge mit mindestens einem, vorzugsweise dreieckigen Plattenelement (201 bis 216) derart verbindbar sind, daß dadurch eine mindestens partiell geschlossene Oberfläche der ersten Fläche gebildet ist.
- 15
20. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Zug- und Druckkräfte übertragenden Verbindungselemente an den jeweiligen Knoten angelenkt sind und insbesondere durch Stäbe aus Aluminium gebildet sind.
- 20
- 25
21. Tragwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die im wesentlichen Zugkräfte übertragenden Verbindungselemente an den jeweiligen Knoten festgelegt,

insbesondere angelenkt, sind und mindestens zum Teil durch jeweils zwei parallel verlaufende Drähte oder Seile aus Stahl gebildet sind.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Tragwerk mit mindestens einer Tragwerkszelle, insbesondere wandelbares Tragwerk mit zellenartigem Aufbau.
2. Die Erfindung betrifft ein Tragwerk mit mindestens einer Tragwerkszelle (91), insbesondere ein wandelbares Tragwerk mit zellenartigem Aufbau bestehend aus mindestens einer Tragwerkszelle, die von Knoten (114, 115, 126, 121) einer ersten Knotenmenge, die in einer ersten Fläche liegen, und von Knoten (101, 102, 113, 108) einer zweiten Knotenmenge, die in einer zweiten Fläche liegen, begrenzt ist, und mit mindestens einem Knoten (109) einer dritten Knotenmenge, der außerhalb der ersten Fläche liegt, wobei mindestens ein Teil der Knoten der ersten und zweiten Knotenmenge durch eine Führungseinrichtung in seiner Position zueinander festlegbar, insbesondere miteinander verbindbar, ist, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Knoten (109) der dritten Knotenmenge mit mindestens zwei Knoten (114, 115, 113, 121) der ersten und/oder zweiten Knotenmenge durch ein im wesentlichen nur Zugkräfte übertragendes Verbindungselement (39, 41, 43, 45) verbunden ist.
3. Fig. 3



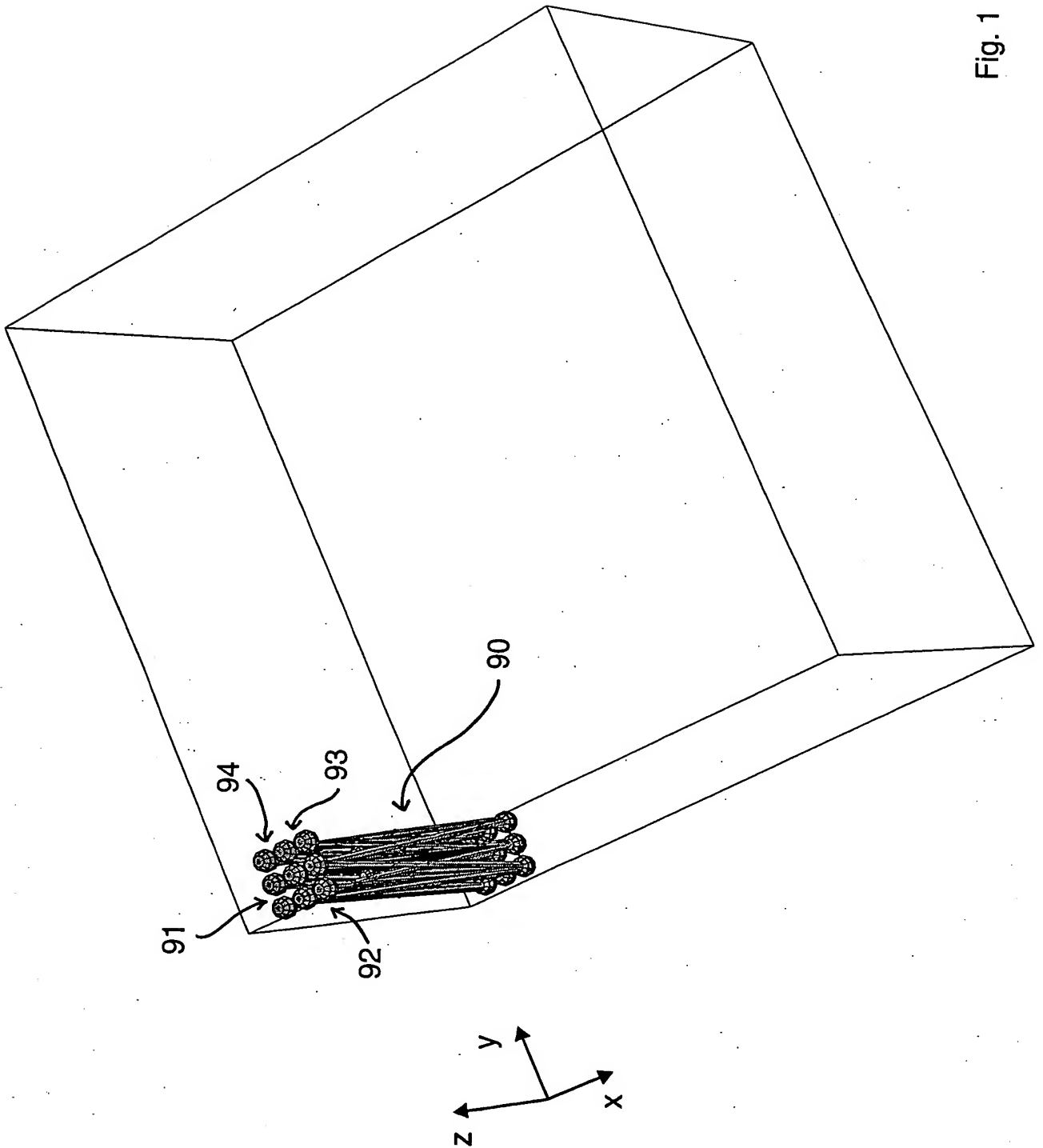


Fig. 1

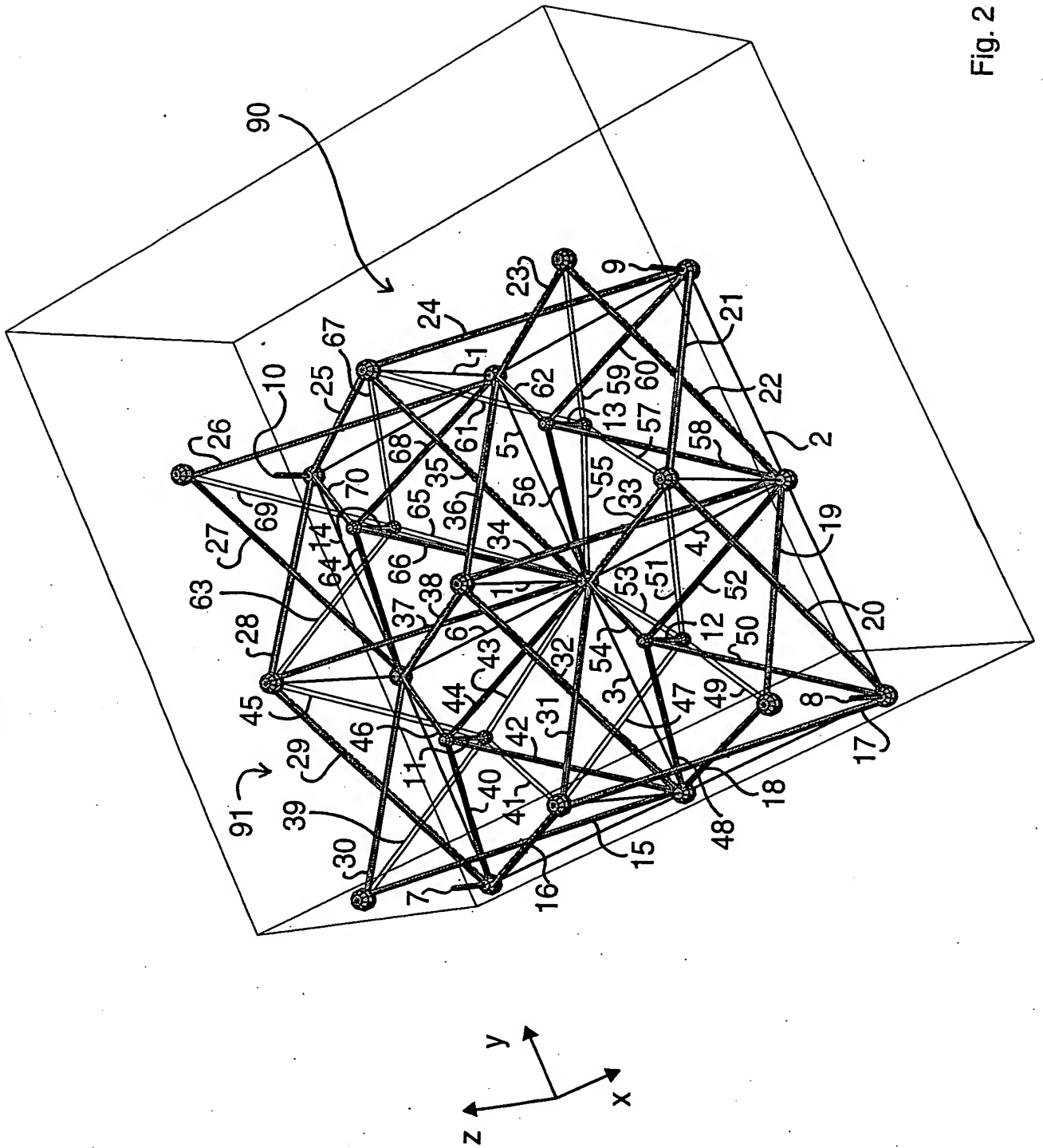


Fig. 2

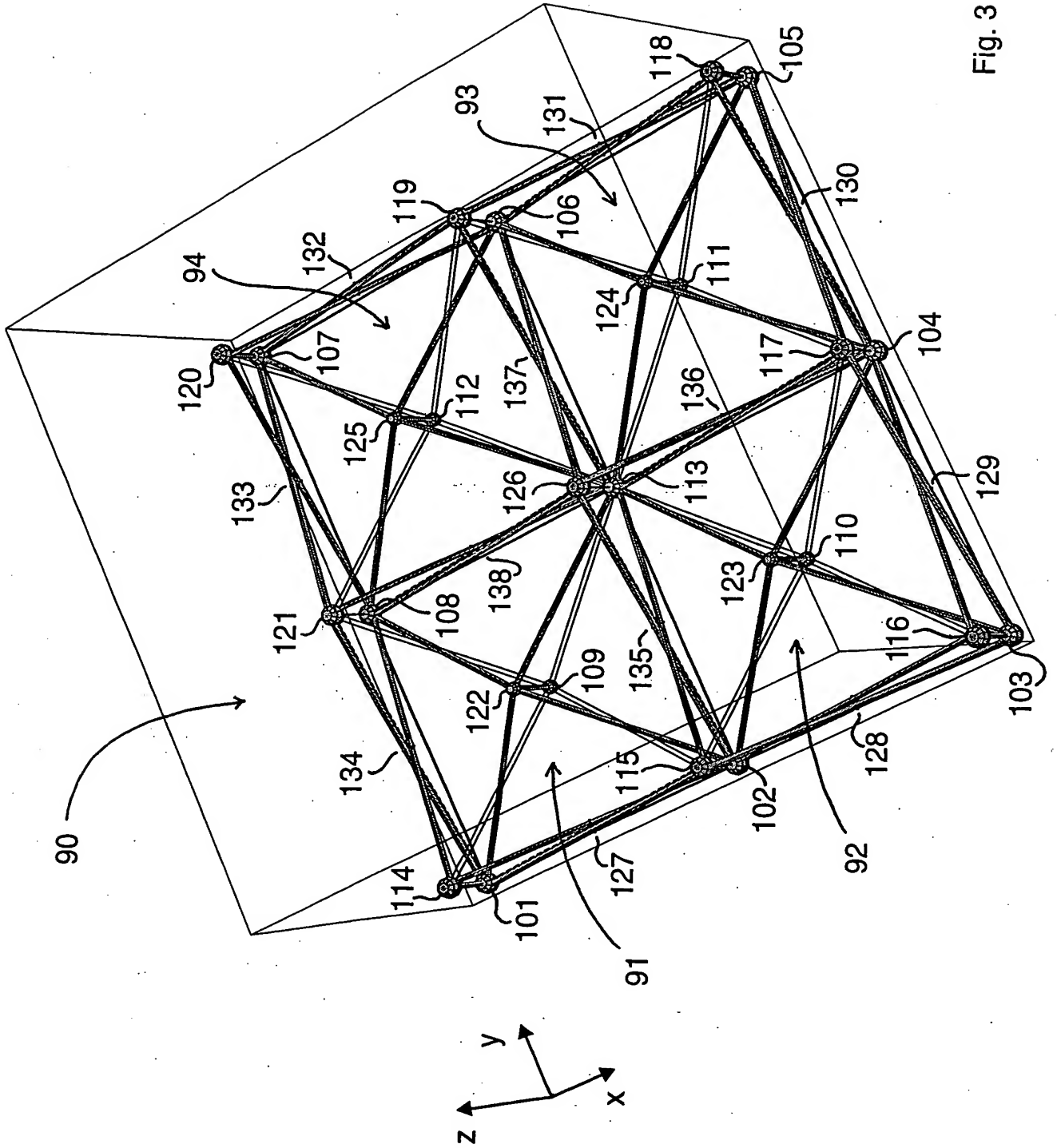


Fig. 3

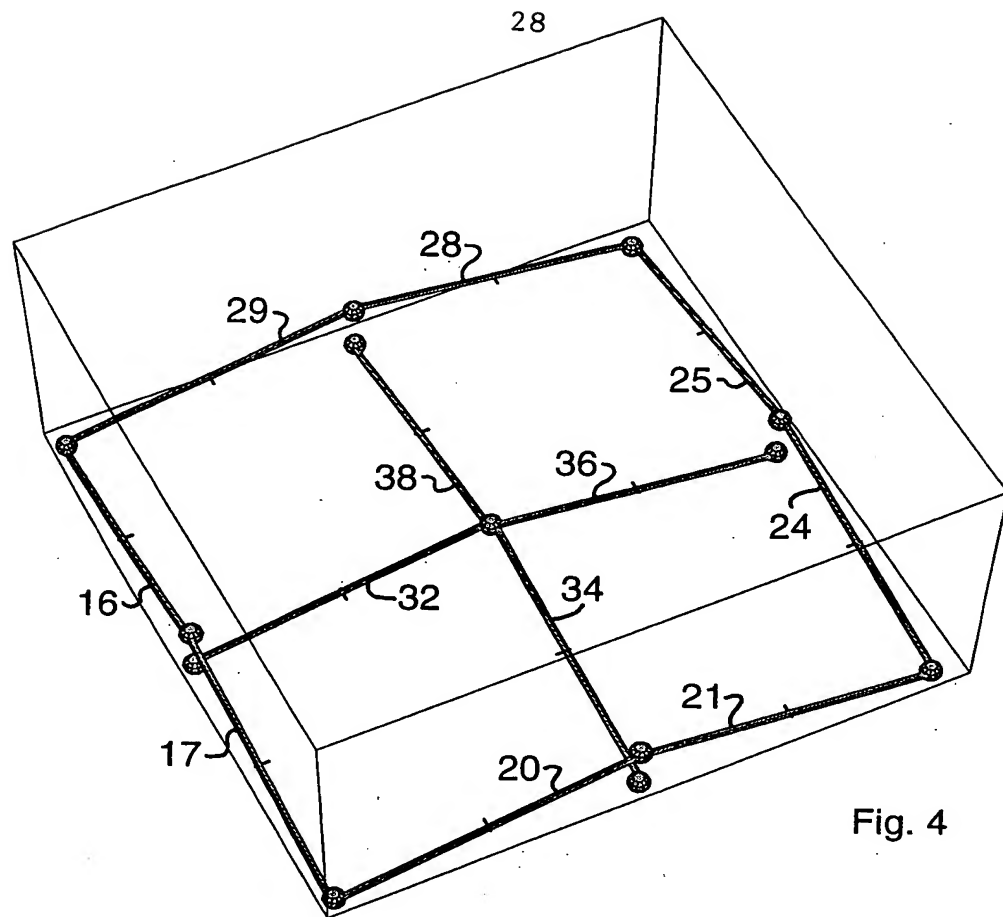


Fig. 4

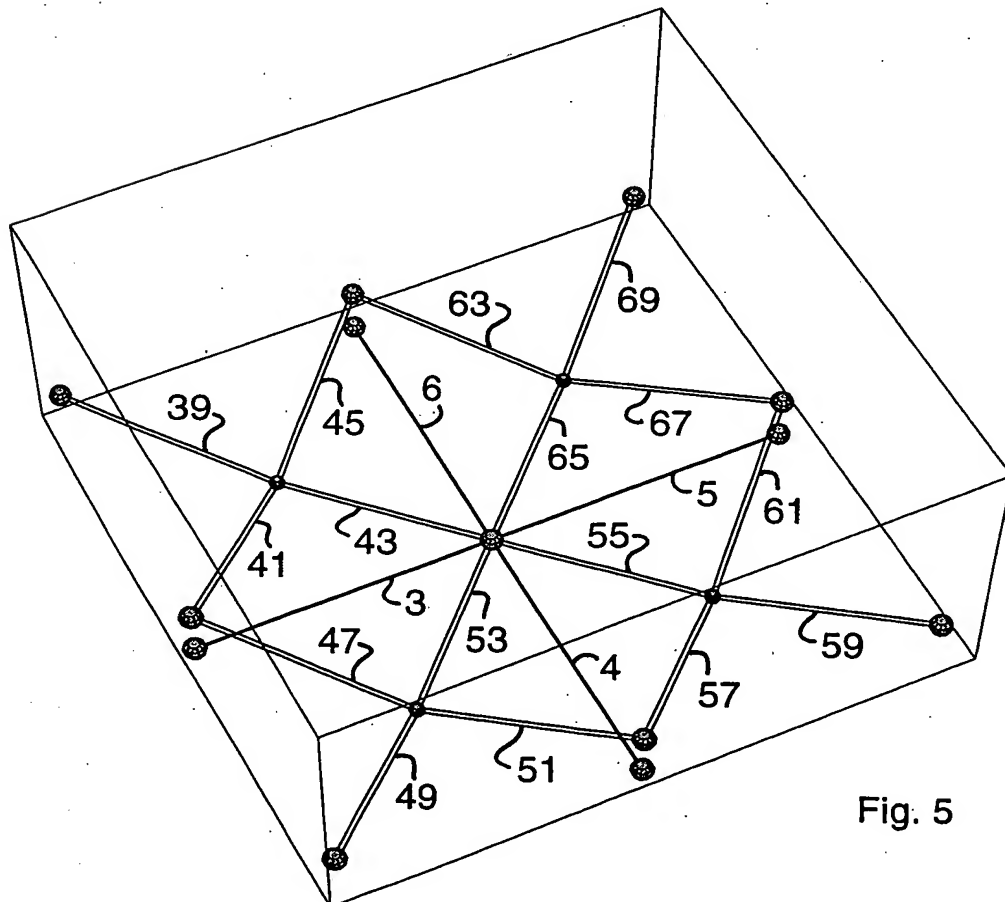
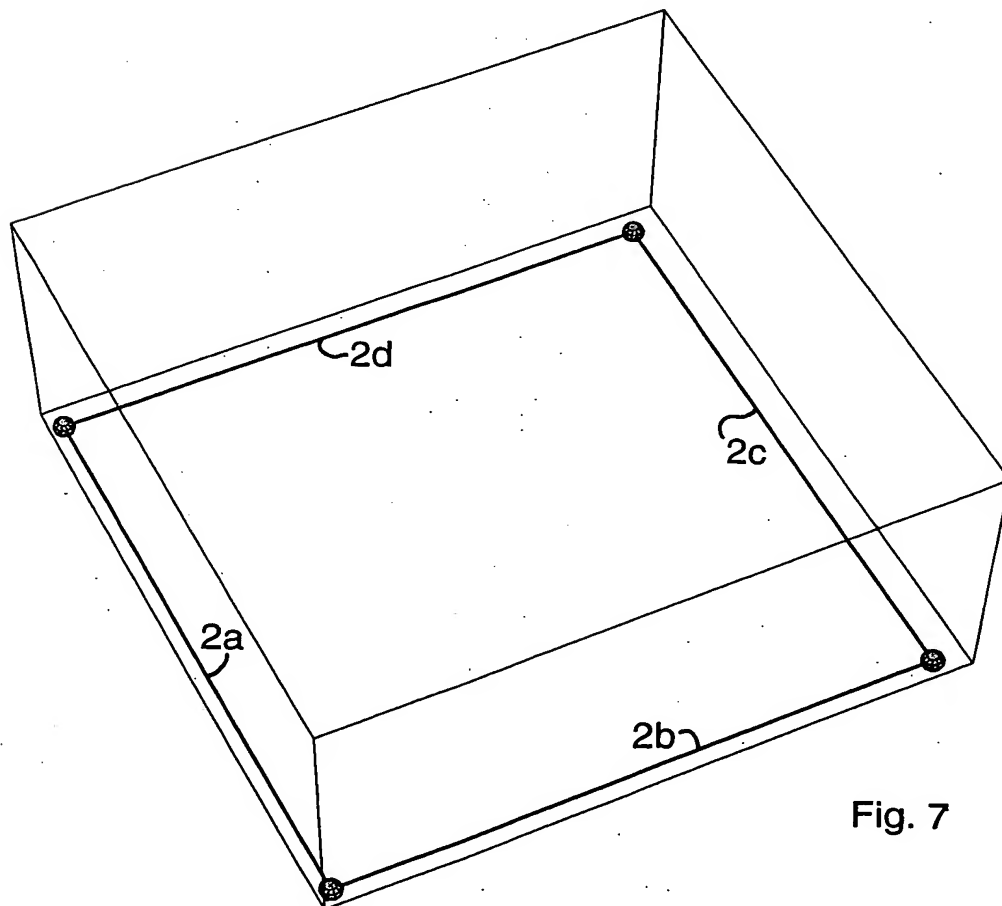
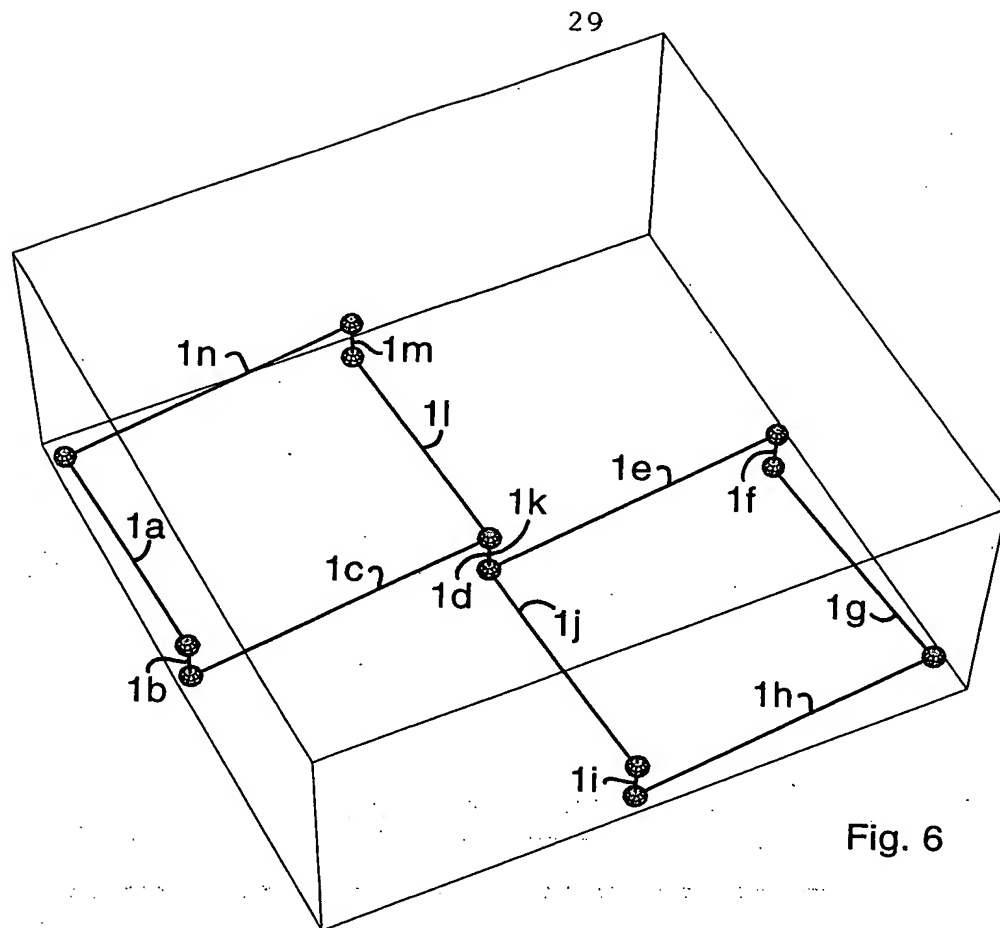
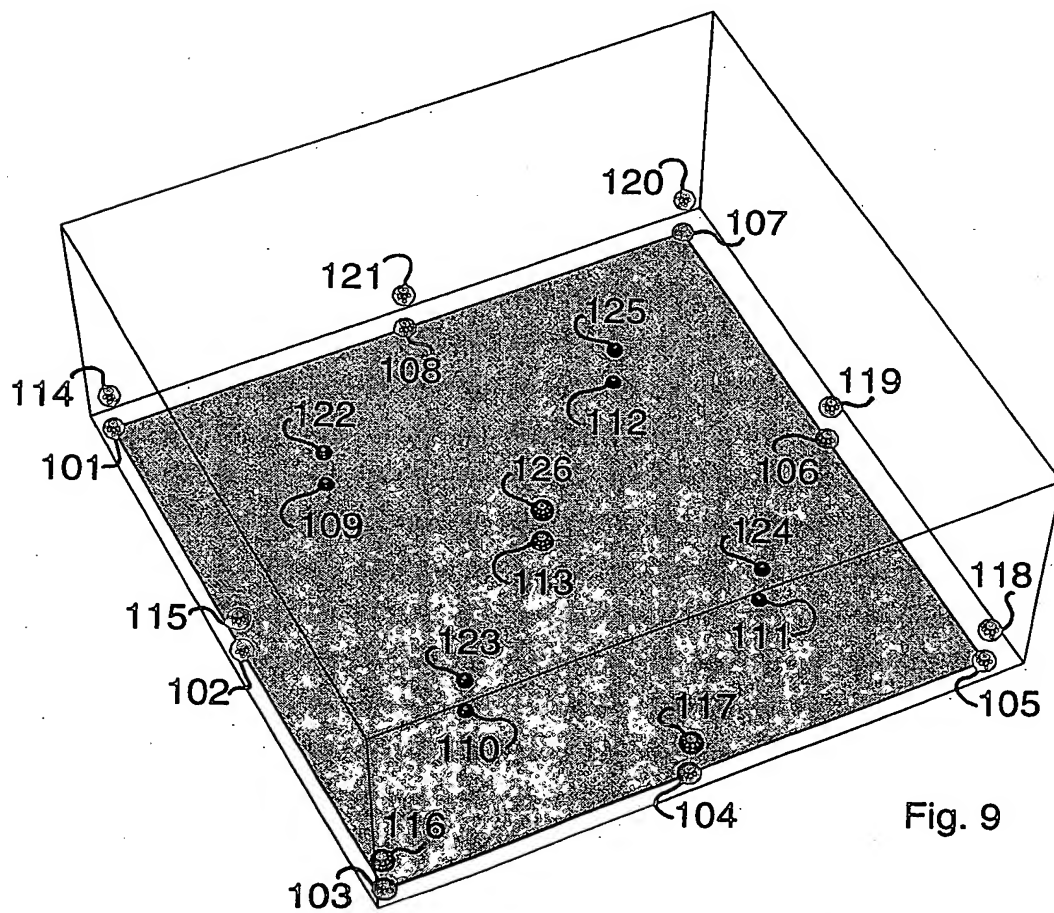
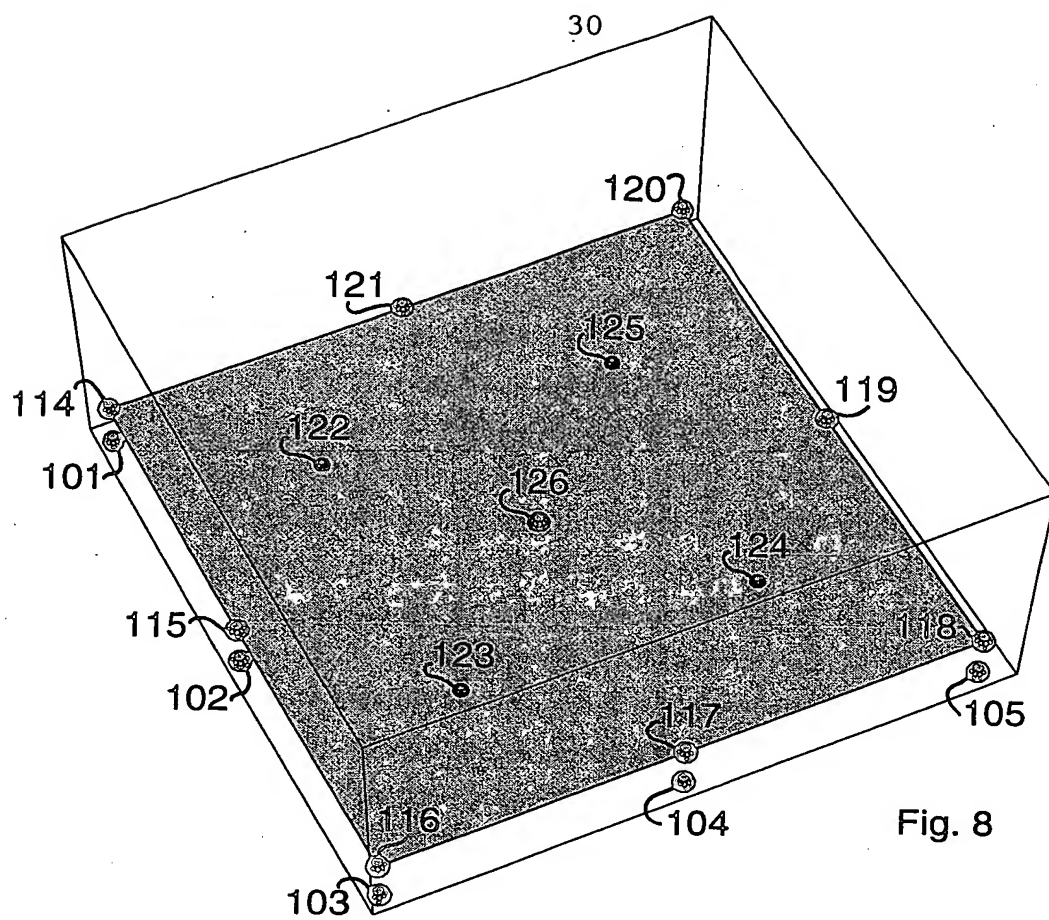


Fig. 5





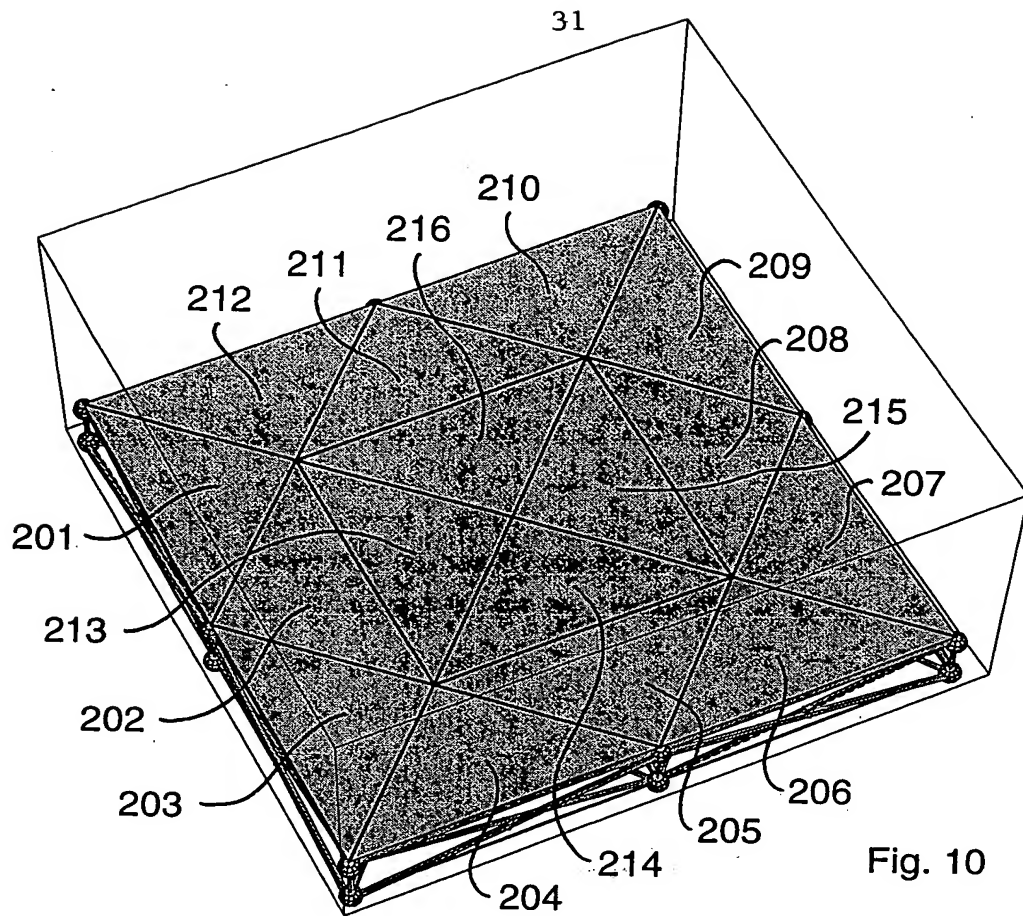


Fig. 10

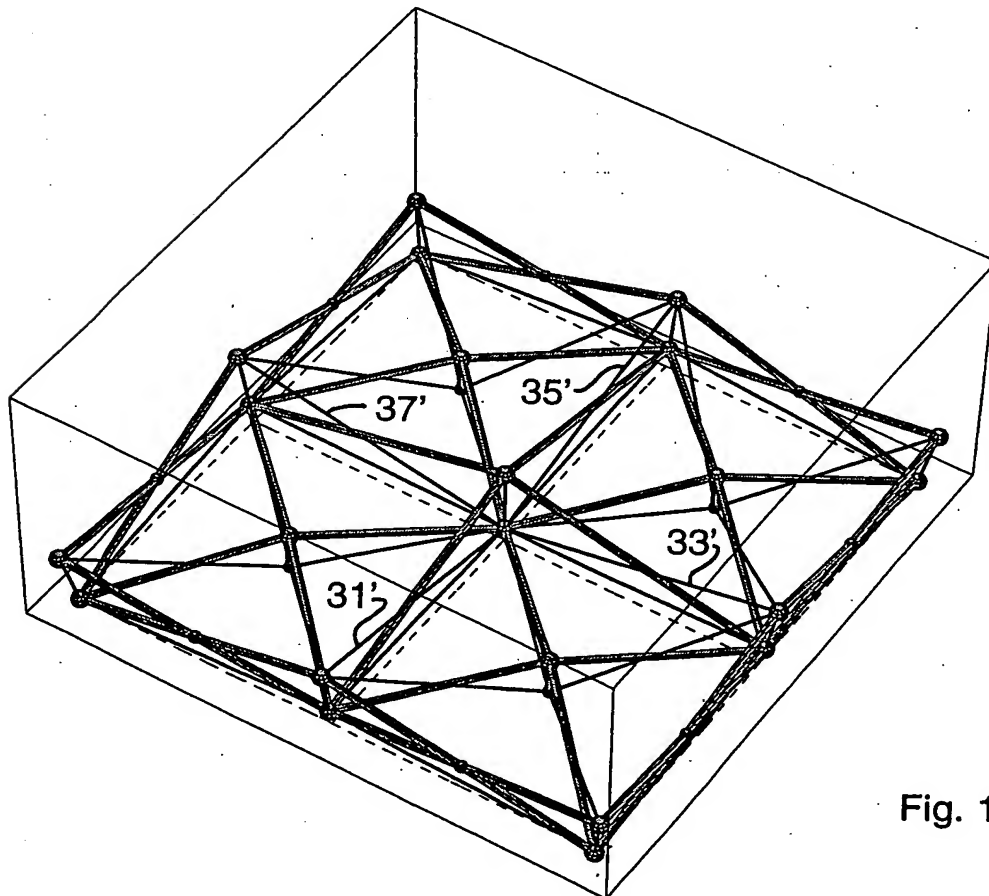


Fig. 11

